

УДК 67.05

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ В ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ЦЕПИ КОМПЛЕКСИРОВАННОЙ МАНИПУЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ РОБОТОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ОБЪЕКТОВ

Умнов В.П., Егоров И.Н.

ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», Владимир, e-mail: mex-rob@yandex.ru

При выполнении технологических процессов обработки крупногабаритных изделий в нестационарных условиях требуется максимальная концентрация различных технических устройств на подвижных носителях. Тогда роботизированный технологический центр должен представлять собой комплексированную систему, состоящую из совокупности взаимосвязанных манипуляторов различного назначения. Рассматривается манипуляционная система, состоящая из двух манипуляторов, расположенных последовательно, один из которых является транспортным носителем для другого – технологического. Сформулирована задача комплексирования геометрических характеристик манипуляторов как компонентов совокупной кинематической цепи. В качестве критериев комплексирования приняты энергетический и динамический показатели: потребляемая мощность и время выполнения этапа движения. Предложена обобщенная энергодинамическая оценка различных вариантов распределения длины совокупной кинематической цепи манипуляторов. На основании полученных аналитических выражений выполнено распределение параметров исполнительной кинематической цепи последовательно расположенных транспортного и технологического манипуляторов лазер-робота «Палар-40».

Ключевые слова: манипуляционная система, кинематическая цепь, звенья, длина, быстродействие

DISTRIBUTION OF PARAMETERS IN EXECUTIVE KINEMATICS CHAIN OF COMPLEX OF MANIPULATION SYSTEM OF ROBOTS FOR TREATMENT OF LARGE OBJECTS

Umnov V.P., Egorov I.N.

The Federal State budgetary educational institution of higher professional education «The Vladimir State University named after Alexander Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletovs», Vladimir, e-mail: mex-rob@yandex.ru

At implementation of technological processes of treatment of large wares in non-stationary terms the maximal concentration of one times of the personal technical devices is required on movable carriers. Then of robots technological center must be the complexes system consisting of totality of associate manipulators of the different setting. The manipulation system, consisting of two manipulators located consistently, is examined, one of that is a transport carrier for other – technological. The task of complexes of geometrical descriptions of manipulators is set forth as components of the combined kinematics chain. As criteria complexes is accepted power and dynamic indexes: watts-in and time of implementation of the stage of motion. The generalized energy dynamic estimation of different variants of distribution of length of the combined kinematics chain of manipulators offers. On the basis of the got analytical expressions distribution of parameters of executive kinematics chain is executed successive located transport and technological.

Keywords: manipulation system, kinematics chain, links, length, fast-acting

В гибких производственных системах большинство манипуляционных функций может выполняться роботами и манипуляторами, обладающими высокоразвитыми исполнительными системами [1]. При выполнении технологических процессов обработки крупногабаритных изделий (демонтаж и монтаж ферм, резервуаров, объектов специального назначения и т.д.) в нестационарных условиях требуется максимальная концентрация различных технических устройств на подвижных носителях. Тогда роботизированный технологический центр должен представлять собой интегрирован-

ную систему с максимальной концентрацией операций и возможностью реализации технологического процесса практически в экстремальных условиях [2]. Примером такой системы является манипуляционная система лазер-робота «Палар-40», представленная на рис. 1 и состоящая из совокупности трех манипуляторов: транспортного и двух технологических, один из которых (основной) предназначен для перемещения рабочего инструмента при выполнении операции, а другой (дополнительный) – для идентификации обрабатываемой поверхности и ее подготовки к обработке.

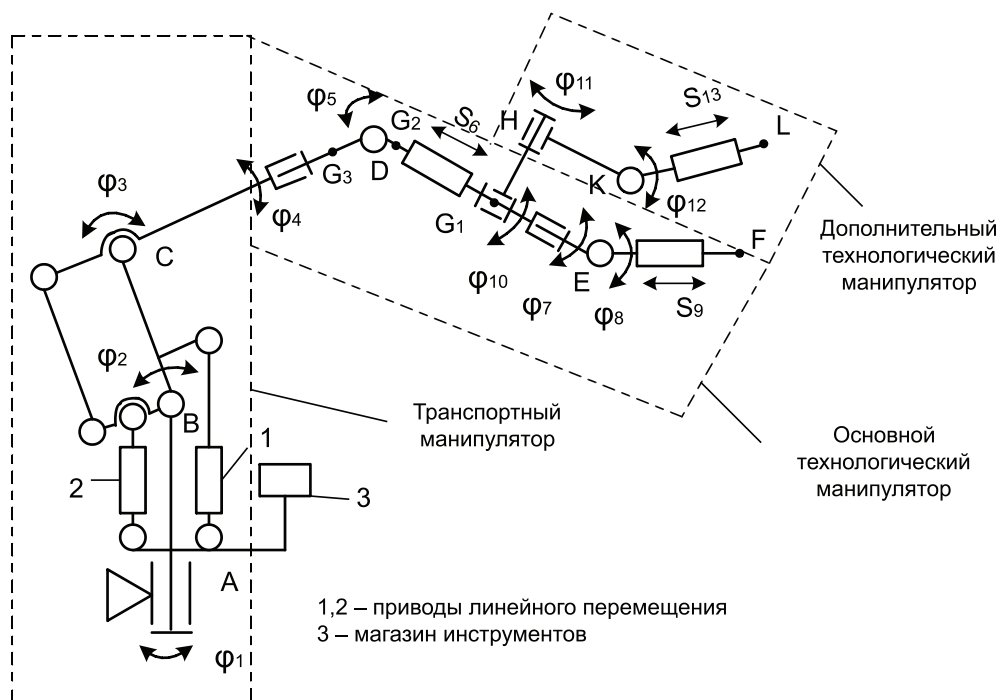


Рис. 1. Комплексированная манипуляционная система робота «Палар-40»

В процессе проектирования комплексированных манипуляционных систем с последовательным расположением транспортного и основного технологического манипуляторов (дополнительный манипулятор условно исключен) одной из задач является задача геометрического синтеза [3], в частности задача распределения длины совокупной кинематической цепи между ними. Это предопределяет разделение зоны работы $V \in V^6$ на две зоны: $V_{P,TP} \in V_P$ и $V_{P,T} \in V_P$, где $V_{P,TP}$ и $V_{P,T}$ – зоны работы транспортного и технологического манипуляторов. Отметим, что транспортный манипулятор является носителем для технологического и работает в режиме перестановки с фиксацией звеньев в положении статического равновесия во время работы технологического манипулятора.

Обозначим L_{TP} и L_T – суммарные длины кинематических цепей транспортного и технологического манипуляторов соответственно – и сформулируем задачу, обозначенную выше. Для заданной рабочей зоны $V \in V^6$ совокупной кинематической цепи манипуляторов, имеющих суммарную длину $L_{TP} + L_T = L = \text{const}$, определить отношение $K = L_{TP}/L_T$, которое бы доставляло минимум некоторому функционалу J при условии, что суммарное время T движения рабочей точки технологического манипулятора по некоторой траектории $\lambda \dot{I} v$ ($\lambda \in c$)

и время перестановки транспортного было также минимальным.

В качестве функционала J будем рассматривать величину мощности, развиваемой манипуляторами, для перемещения рабочих точек в случае треугольной тахограммы движения [4], определенные условиями работы:

$$J = \sum_{i=1}^2 |H_i p^2 q_i + G_i(q_i)| |\dot{q}_i|. \quad (1)$$

Здесь $H_i p^2 q_i$, $G_i(q_i)$ – эквивалентные динамические и статические моменты манипуляторов; $|\dot{q}_i|^T = |\dot{q}_1, \dot{q}_2|$ – вектор обобщенных скоростей. Ввиду отсутствия количественных значений целого ряда параметров использование критерия в виде (1) предопределяет ряд допущений:

- звенья каждого из манипуляторов направлены вдоль одной прямой (рис. 2);
- центры масс манипуляторов находятся на середине их совокупных длин;
- рассматривается совокупность двух движений: перемещение рабочей точки технологического манипулятора ($CC' = C$) и перемещение рабочей точки транспортного манипулятора (BB');
- считаем, что в процессе движения непрерывно действуют статические и динамические моменты.

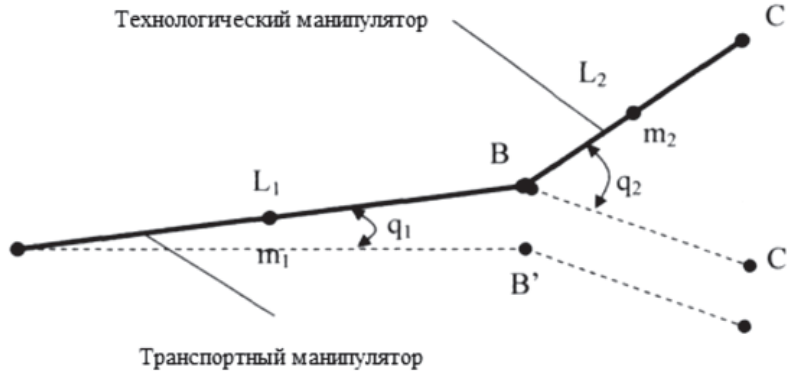


Рис. 2. Перемещения транспортного и технологического манипуляторов

Массы манипуляторов m_1 и m_2 зависят от их длины. Примем эту зависимость линейной:

$$\left. \begin{aligned} m_1 &= p_1 L_1 \\ m_2 &= p_2 L_2 \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где p_1, p_2 – массы единицы длины кинематических цепей манипуляторов. Учитывая, что

$$L_2 = KL(K+1)^{-1} \text{ и } L_1 = L(K+1)^{-1},$$

выражение (1) можно привести к виду

$$J = L(K+1)^{-1} \left\{ A_1 K^3 + A_2 K + A_3 + (A_4 K + A_5) \left[K^2 - C^2 L^{-2} (K+1)^2 \right]^{0.5} \right\}. \quad (3)$$

В выражении (3) обозначено:

$$A_1 = 8p_2 a_1 V_1;$$

$$A_2 = 8p_2 \left(a_1 V_1 + \frac{a_2 V_2}{3} \right);$$

$$A_3 = 2 \left(\frac{4}{3} \right) p_1 a_1 V_1 + p_2 V_2 g;$$

$$A_4 = 2p_2 V_1 (4a_1 + g);$$

$A_5 = 2p_2 V_2 g$; V_1, V_2, a_1, a_2 – линейные скорости и ускорения центров масс; g – ускорение силы тяжести.

Анализ показывает, что функция $J = \Phi(K)$ в выражении (3) является знакопостоянной и возрастающей. Минимальное значение J определяется экстремалью $K_E = C^2(L^2 - C^2)^{-1}$, в точке пересечения с которой величина J_{\min} равна:

$$J_{\min} = L(K_E + 1)^{-1} (A_1 K_E^3 + A_2 K_E + A_3). \quad (4)$$

Учитывая, что суммарное время движения манипуляторов $T = T_{TP} + T_T = \sum_{i=1}^2 \dot{q}_i q_i^{-1}$, в соответствии с рис. 2 получим

$$T = (K+1)L^{-1} \left\{ V_1 \left[\arcsin(CL^{-1}) \right]^{-1} + V_2 \left\{ K \arcsin \left[C(K+1)(KL)^{-1} \right] \right\}^{-1} \right\}. \quad (5)$$

Значение $K = K_T$, доставляющее минимум величине T , в явном виде из (5) выразить не удастся в связи с трансцендентностью получающегося уравнения. Однако анализ выражения (5) показывает, что $T = T_{\min}$ будет при выполнении условия

$$K = K_T = C(L-C)^{-1}. \quad (6)$$

Очевидно, что при любых значениях C и L $K_T > K_E$. Это означает, что с энергетической точки зрения отношение L_T/L_{TP} должно быть большим, чем с динамической, оцениваемой быстродействием T .

Поставим в соответствие значения

$$\left. \begin{aligned} K_E &\Rightarrow J_E, T_E \\ K_T &\Rightarrow J_T, T_T \end{aligned} \right\}. \quad (7)$$

Тогда количество перестановок транспортного манипулятора (количество участков работы технологического манипулятора) в течение некоторого достаточно большого интервала времени T_p безостановочной работы будет равно:

$$\left. \begin{aligned} B_1 &= T_p T_E^{-1}; \\ B_2 &= T_p T_T^{-1}. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Так как $T_T < T_E$ получим

$$\Delta B = B_2 - B_1 = T_P(T_E - T_T)(T_E T_T)^{-1}.$$

Дополнительные затраты энергии ΔE_1 в случае $K = K_E$ для совершения количества циклов ΔB , отнесенные к одному циклу движения, равны:

$$E_T = J_E(T_E - T_T)T_T^{-1}.$$

Тогда принятие значения $K = K_E$ по сравнению со значением K_T по энергетическим затратам будет определяться из условия

$$E_T = E_E [1 + (T_E - T_T)T_T^{-1}]$$

или после преобразования:

$$J_T T_T^2 < J_E T_E^2. \tag{9}$$

Выражение (9) определяет соотношение действий [5] для двух сравниваемых вариантов. Выведенное неравенство позволяет проводить конкурсное сравнение различных вариантов построения манипуляторов (и других объектов) с энергетической точки зрения с учетом их быстродействия. При этом быстродействие оценивается не только как время потребления энергии от источника питания, но и как время выполнения заданной полезной работы.

Быстродействие в (9) учитывается лишь с энергетической точки зрения. В то же время в реальных условиях оно имеет самостоятельное значение и является важной технической характеристикой манипулятора, особенно в тех случаях, когда робот является «узким местом» в производственном процессе. Исходя из этого по-

сле несложных преобразований представим выражение (9) в виде

$$\alpha_E \bar{\theta}_E + \alpha_T \bar{\theta}_T < \bar{T}_{TE}, \tag{10}$$

где $|\theta_E| = J_E T_E (J_T T_T)^{-1}$; $|\theta_T| = T_E T_T^{-1}$;

$$|\bar{T}_{TE}| = [(T_T^2 + T_E^2)(T_T T_E)^{-1}]^{0,5};$$

здесь α_E и α_T – экспертные весовые множители, определяемые, например, методом ранговой корреляции.

Выражение (10) представляет собой обобщенную энергодинамическую оценку различных вариантов построения исполнительной кинематической цепи манипуляторов и отражает соотношение между величиной потребляемой энергии и быстродействием, причем

$$\text{MIN} |\bar{T}_{TE}| = \sqrt{2}.$$

Выражения (9) и (10) могут быть использованы для конкурсной оценки энергетических и динамических характеристик различных технических объектов, осуществляющих периодические (циклические) движения.

На основании полученных аналитических выражений выполнено распределение параметров исполнительной кинематической цепи последовательно расположенных транспортного и технологического манипуляторов лазер-робота «Палар-40». Для вычислений приняты следующие исходные данные: $L = 10$ м; $C = 1,5$ м; $p_1 = 100$ кг·м⁻¹; $p_2 = 50$ кг·м⁻¹; $V_1 = 0,1$ м·с⁻¹; $V_2 = 0,2$ м·с⁻¹; $a_1 = 1$ м·с⁻²; $a_2 = 2$ м·с⁻²; $g = 10$ м·с⁻².

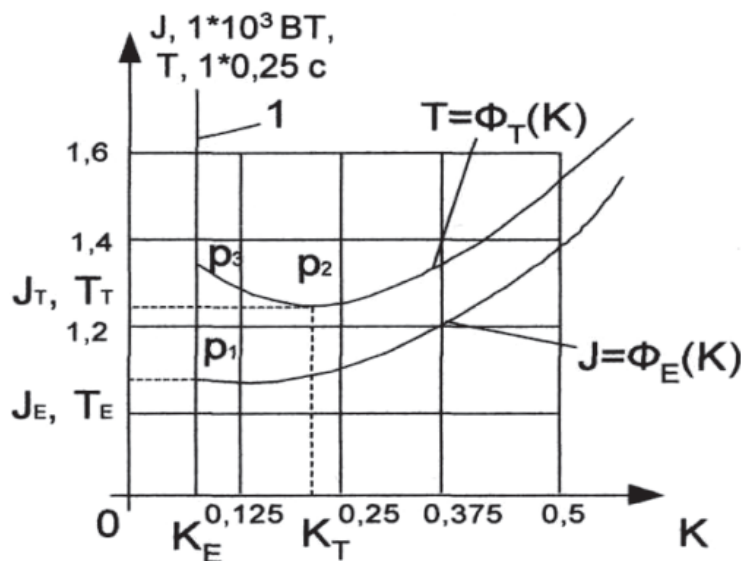


Рис. 3. Графики зависимостей $J = \Phi_E(K)$ и $T = \Phi_T(K)$ для манипуляторов лазер-робота «Палар-40»

На рис. 3 приведены графические зависимости $J = \Phi_E(K)$ и $T = \Phi_T(K)$, вычисленные в соответствии с выражениями (3) и (5). Прямая 1 – экстремаль, для которой $K_E = 0,076$, $K_T = 0,0203$; $J_E = 1,13 \cdot 10^3$ Вт; $J_T = 1,26 \cdot 10^3$ Вт; $T_E = 0,39$ с; $T_T = 0,28$ с.

Величину K определим, воспользовавшись выражением (9). Вычислим произведения: $J_T T_T^2 = 98,784$ Вт с²; $J_E T_E^2 = 171,873$ Вт с². Следовательно, в качестве искомой величины K следует принять $K = K_T = 0,203$. Тогда длины кинематических цепей транспортно- и технологического манипуляторов будут равны: $L_{TP} = 7,97$ м; $L_T = 2,03$ м.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 13-08-01364).

Список литературы

1. Умнов В.П. Комплексирование манипуляционной исполнительской системы роботизированных технологических центров гибридной обработки / В.П. Умнов, И.Н. Егоров, С.В. Молостов // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 1.
2. Егоров И.Н. Многофункциональные манипуляционные исполнительские системы роботизированных технологических центров / И.Н. Егоров, В.П. Умнов // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2012. – № 2. – С. 111–115.
3. Корендяев А.И. Манипуляционные системы роботов / А.И. Корендяев, Б.Л. Саламандра, Л.И. Тывес и др. – М.: Машиностроение, 1989. – 472 с.
4. Ключев В.И. Теория электропривода. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 704 с.

5. Бугаенко Г.А. Основы классической механики / Г.А. Бугаенко, В.В. Маланин, В.И. Яковлев. – М.: Высш.шк., 1999. – 367 с.

References

1. Umnov V.P. Kompleksirovanie manipuljacionnoj ispolnitel'noj sistemy robotizirovannyh tehnologicheskikh centrov gibridnoj obrabotki / V.P. Umnov, I.N. Egorov, S.V. Molostov // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2014. no. 1.
2. Egorov I.N. Mnogofunkcionalnye manipuljacionnye ispolnitel'nye sistemy robotizirovannyh tehnologicheskikh centrov / I.N. Egorov, V.P. Umnov // Problemy mashinostroenija i avtomatizacii. 2012. no. 2. pp. 111–115.
3. Korendjasev A.I. Manipuljacionnye sistemy robotov / A.I. Korendjasev, B.L. Salamandra, L.I. Tyves i dr. M.: Mashinostroenie, 1989. 472 p.
4. Kljuhev V.I. Teorija jelektroprivoda. M.: Jenergoatomizdat, 1998. 704 p.
5. Bugaenko G.A. Osnovy klassicheskoj mehaniki / G.A. Bugaenko, V.V. Malanin, V.I. Jakovlev. M.: Vyssh.shk., 1999. 367 p.

Рецензенты:

Гоц А.Н., д.т.н., профессор кафедры тепловых двигателей и энергетических установок, Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, г. Владимир;

Кульчицкий А.Р., д.т.н., старший научный сотрудник, главный специалист ООО «Завод инновационных продуктов «КТЗ», г. Владимир.

Работа поступила в редакцию 18.11.2014